

Tata cara penerapan model aliran air tanah



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan.....	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Persyaratan	2
5 Prosedur	3
6 Pelaporan	10
Lampiran A (normatif)	11
Bibliografi.....	13



Prakata

Standar ini menguraikan prinsip umum mengenai penerapan dan pendokumentasian model aliran air tanah, yang dalam konteks ini merujuk kepada model matematik untuk memecahkan persoalan spesifik aliran air tanah setempat. Di dalamnya diuraikan tentang garis besar langkah-langkah pengembangan suatu model aliran air tanah yang digunakan untuk menirukan perilaku sistem akuifer yang telah dipelajari di lapangan. Standar ini tidak mengidentifikasi perangkat lunak berupa program komputer spesifik atau algoritma tertentu di dalam penerapan model aliran air tanah.

Perumusan standar ini dilakukan melalui rapat Konsensus ulang pada bulan November 2011 di Bandung pada Pusat Litbang Sumber Daya Air Kementrian PU disusun oleh Gugus Kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Air Tanah dan Air Baku melalui Subpanitia Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air yang berkoordinasi dengan Panitia Teknis 91-01. Penulisan standar ini mengacu kepada PSN 08:2007 dan telah mendapat masukan serta koreksi dari ahli bahasa.



Pendahuluan

Pada saat ini berkembang penggunaan model-model sumber daya air, yakni model air atmosferik, model aliran air permukaan, dan model aliran air tanah. Di beberapa negara malahan sudah dikembangkan pula model-model dengan memasangkan ketiga model tersebut yang diintegrasikan ke dalam satu model gabungan. Oleh karena itu, perlu disusun standar mengenai penerapan model-model tersebut baik secara terpisah maupun secara gabungan. Dan, salah satunya adalah standar yang disusun berikut ini yang hanya diperuntukkan bagi penerapan model aliran air tanah.

Standar ini dimaksudkan untuk menguraikan prinsip umum mengenai pengembangan, penerapan, dan pendokumentasian model aliran air tanah, yang dalam konteks ini merujuk kepada model matematik untuk memecahkan persoalan spesifik aliran air tanah setempat.

Penerapan model aliran air tanah ini merupakan alat yang berguna untuk:

- a) membantu mengevaluasi persoalan aliran air tanah;
- b) merancang tindakan-tindakan perbaikan;
- c) mengkonseptualisasikan dan mempelajari aliran air tanah;
- d) menyediakan informasi tambahan untuk pengambilan keputusan;
- e) mengenali keterbatasan pada data dan koleksi data baru.

Model air tanah secara rutin digunakan di dalam pengambilan keputusan manajemen sumber-sumber air dan lingkungan. Hasil penerapan ini harus bisa dipertahankan secara ilmiah dan pengambil keputusan harus diberi informasi dengan segera mengenai derajat ketidakpastian yang muncul dari hasil penerapan model ini. Oleh karena itu, instansi yang memakai standar ini harus menyajikan kerangka yang konsisten tentang pengembangan, penerapan, dan pendokumentasian model aliran air tanah yang digunakan.

Standar ini menyajikan langkah-langkah ideal yang harus diikuti oleh para pemodel air tanah untuk menerapkan suatu model aliran air tanah yang didasarkan pada model matematik dengan menggunakan teknik numerik, analitik, atau teknik-teknik lainnya. Standar ini juga bisa digunakan oleh siapapun yang menginginkan konsistensi dalam usaha pemodelan, tetapi harus di bawah arahan pemodel yang bersangkutan.

Dengan menggunakan standar ini, tidak dijamin bahwa hasilnya selalu valid, mengingat bahwa validitas sangat tergantung pada keterampilan dan pemahaman para pemodel terhadap persoalan air tanah yang dihadapi. Sebagai contoh penggunaan suatu model media porus berupa rongga antar butiran terhadap aliran air tanah di daerah karst menjadi tidak berlaku, mengingat media porusnya berupa ruang retakan dan rekahan serta saluran hasil pelarutan. Dalam kasus demikian, meskipun pemodel mengikuti seluruh tahapan dalam standar ini, dipastikan akan menghasilkan suatu model yang tidak bisa dipertahankan secara ilmiah.

Model aliran air tanah diterapkan pertama kali terhadap cekungan air tanah Madiun – Solo pada tahun 1976, yang menggunakan model kuasi tiga dimensi untuk dua lapisan akuifer dan satu lapisan semi kedap pemisah kedua akuifer tersebut, dengan memakai metode beda hingga (*finite difference method*). Setelah itu berbagai model aliran air tanah banyak diterapkan di Indonesia, diantaranya yang memakai metode elemen hingga (*finite element method*), seperti yang pernah diterapkan terhadap cekungan air tanah Jakarta.



Tata cara penerapan model aliran air tanah

1 Ruang lingkup

Standar ini menguraikan prinsip umum mengenai pengembangan, penerapan dan pendokumentasian model aliran air tanah, yang dalam konteks ini merujuk kepada model matematik, untuk memecahkan persoalan spesifik aliran air tanah setempat. Secara garis besar diuraikan langkah-langkah pengembangan suatu model aliran air tanah untuk menirukan perilaku sistem akuifer yang telah dipelajari di lapangan. Standar ini tidak mengidentifikasi perangkat lunak tertentu berupa program komputer spesifik atau algoritma. Standar ini merupakan salah satu dari rangkaian standar-standar yang dibuat mengenai model air tanah dan tidak dimaksudkan bahwa semua hal telah tercakup dengan lengkap.

2 Acuan normatif

- SNI 6436 : Metode pengujian sumur injeksi dan pemompaan untuk penentuan sifat hidraulik akuifer.
- SNI 6744 : Tata cara pemilihan metode uji sifat hidraulik dengan teknik sumur.
- SNI 6739 : Metode pengujian untuk penentuan kapasitas jenis dan penaksiran transmisivitas pada sumur uji.
- SNI 6743 : Metode pengujian sifat hidraulik akuifer dengan cara Theis.
- SNI 6740- : Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara pemulihan Theis.
- SNI 6741 : Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara uji kolom air.
- SNI 6742 : Metode pengujian kolom air di lapangan untuk penentuan sifat-sifat hidraulik akuifer.
- ASTM D5447-93 : *Standard guide for application of a groundwater flow model to a site-specific problem.*

3 Istilah dan definisi

3.1

Model konseptual

suatu gambaran kerja dinamika dan karakteristik sistem fisik yang ditinjau.

3.2

Model aliran air tanah

model matematik yang diterapkan untuk mewakili secara spesifik sistem aliran air tanah yang ditinjau.

3.3

Model matematik

persamaan–persamaan matematik sistem fisik (termasuk di dalamnya asumsi-asumsi yang disederhanakan), dan keterwakilan sistem fisik oleh pernyataan matematik mengenai perilaku dari sistem tersebut.

3.4

Kondisi batas

suatu bentuk ekspresi matematik keadaan sistem fisik yang merupakan pembatas-pembatas yang menyatu di dalam model matematik tersebut.

3.5

Kalibrasi

proses dalam aplikasi model yang bertujuan menghaluskan representasi model untuk mencapai derajat kedekatan hubungan yang diinginkan antara hasil simulasi model dan hasil pengukuran sistem aliran air tanah.

3.6

Program komputer

kumpulan pernyataan teknik numerik model matematik dengan menggunakan bahasa program pengendali mesin komputer agar model dapat menerima data masukan (*input*) dan dapat melakukan instruksi untuk menghasilkan keluaran (*output*).

3.7

Verifikasi program

pengujian perangkat lunak atau program komputer dengan cara melakukan perbandingan hasil penerapannya terhadap hasil pemecahan analitis dan hasil penerapan program serupa lainnya untuk memeragakan bahwa program ini mempunyai dasar matematik yang kuat.

3.8

Verifikasi penerapan

penggunaan serangkaian nilai-nilai parameter dan kondisi batas dari model yang dikalibrasi terhadap serangkaian data lapangan yang diukur di bawah kondisi hidrologi yang sama.

3.9

Sensitivitas

derajat kepekaan hasil model untuk dipengaruhi oleh perubahan-perubahan yang dipilih dan diterapkan di dalam *input* model, yang mewakili kerangka hidrogeologi, sifat hidraulik, dan kondisi batas.

4 Persyaratan

Untuk penggunaan standar penerapan model aliran air tanah ini perlu diperhatikan hal-hal berikut ini:

- a) secara spesifik dipakai untuk model aliran air tanah lajur jenuh dan bersifat isothermal.
- b) konsep pemikirannya secara umum bisa diterapkan pada model-model yang dirancang untuk menirukan proses-proses hidrologi bawah permukaan antara lain: aliran di dalam media jenuh yang variabel, aliran yang merupakan fungsi dari densitas, aliran penjarangan zat terlarut, dan aliran dengan fenomena multifase, tetapi rincian dari berbagai proses ini tidak digambarkan di sini.

Setiap model aliran air tanah adalah unik dan memerlukan prosedur-prosedur tambahan di dalam pengembangan dan penerapannya agar berlaku untuk kondisi aliran air tanah yang ditinjau. Analisis tambahan tersebut harus didokumentasikan dan dicantumkan di dalam laporan model.

Langkah-langkah dasar penerapan dari model air tanah yang ideal meliputi antara lain:

- a) mendefinisikan sasaran studi;

- b) mengembangkan model konseptual;
- c) memilih program komputer;
- d) membuat model aliran air tanah;
- e) melakukan kalibrasi model dan analisis sensitivitas;
- f) membuat simulasi perkiraan;
- g) membuat dokumentasi kajian model;
- h) melakukan pemeriksaan lanjutan.

Langkah-langkah dasar tersebut dirancang untuk memudahkan pemahaman tentang transisi model konseptual menjadi model matematik dan derajat ketidakpastian yang timbul di dalam perkiraan-perkiraan model. Kesemuanya harus didokumentasikan. Langkah-langkah yang dikemukakan umumnya diikuti secara berurutan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1, Meskipun begitu, sering terdapat juga iterasi yang signifikan antara berbagai langkah tersebut. Semua langkah ini dibutuhkan model untuk menirukan kondisi lapangan yang telah diamati dan diukur. Dalam kasus-kasus ketika model hanya sekedar digunakan untuk memahami suatu persoalan yang bersifat konseptual maka tidak seluruh langkah tersebut diperlukan. Sebagai contoh jika tidak ada data yang bersifat spesifik dari aliran air tanah yang ditinjau maka tahap kalibrasi bisa saja dihilangkan.

5 Prosedur

Prosedur yang harus dikerjakan untuk penerapan model aliran air tanah antara lain:

- a) definisikan dan tetapkan sasaran studi;
- b) kembangkan suatu model konseptual
- c) lakukan analisis ketidakpastian dari model konseptual;
- d) susun suatu program komputer atau algoritma;
- e) buatlah model aliran air tanah;
- f) lakukan kalibrasi model;
- g) lakukan analisis sensitivitas;
- h) lakukan simulasi prediksi
- g) buat dokumentasi proses model;
- i) lakukan pemeriksaan lanjutan

Tahapan-tahapan ini pada umumnya diikuti secara berurutan, tetapi suatu tumpang tindih yang substansial di antara langkah-langkah ini dan dengan langkah-langkah sebelumnya bisa saja terjadi. Seringkali tahapan-tahapan ini harus ditinjau kembali sebagai konsep-konsep baru yang tereksplorasi atau yang dianggap merupakan perolehan data baru. Pendekatan model yang bersifat iteratif bisa juga membutuhkan konseptualisasi ulang dari persoalannya. Sebagai contoh pada Gambar 1 ditunjukkan adanya lingkaran umpan balik yang muncul. Langkah-langkah dasar pemodelan dibahas berikut ini.

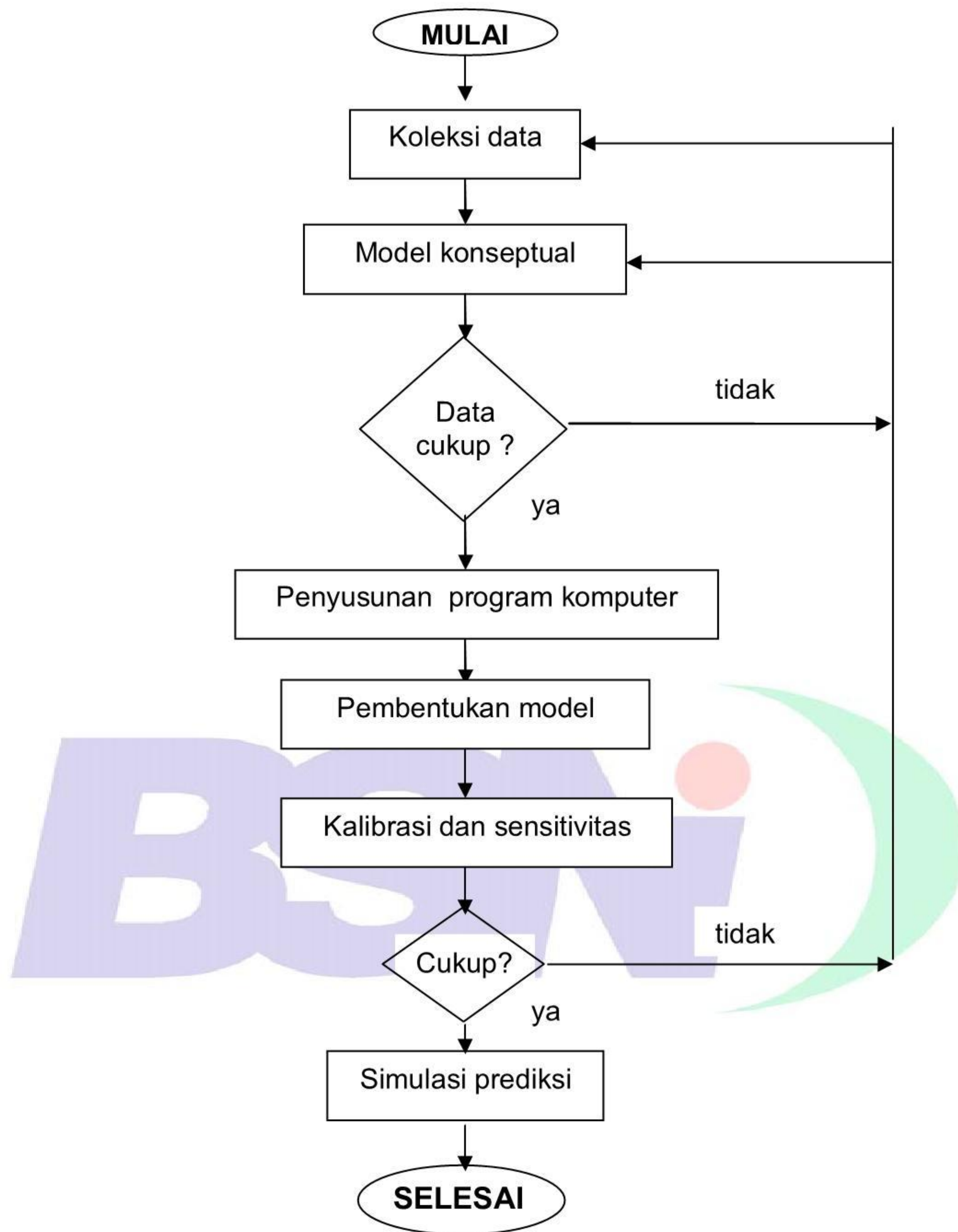
5.1 Pendefinisian sasaran studi

Pendefinisian sasaran studi merupakan suatu langkah penting di dalam penerapan model aliran air tanah. Sasaran ini sangat membantu di dalam penetapan tingkat kerincian dan ketelitian yang dibutuhkan di dalam simulasi model. Oleh karena itu, lengkapi dan rinci sasaran yang dimaksud yang bisa ditentukan sebelum dilakukan aktivitas pemodelan.

5.2 Pengembangan model konseptual

Model konseptual dari aliran air tanah atau sistem hidrologi merupakan interpretasi atau deskripsi kerja karakteristik dan dinamika sistem hidrogeologi fisik. Sasaran dari model konseptual ini adalah untuk mengonsolidasikan data hidrogeologi dan geologi regional dan setempat ke dalam suatu rangkaian asumsi-asumsi dan konsep-konsep yang dapat dievaluasi secara kuantitatif. Untuk pengembangan model konseptual dibutuhkan koleksi dan analisis data hidrologi dan data hidrogeologi sistem akuifer yang diteliti. Standar dan petunjuk teknis yang tersedia yang menguraikan metode perolehan data hidrologi dan hidrogeologi tersebut harus digunakan.





Gambar 1 - Bagan alir proses pemodelan

Dari model konseptual bisa diidentifikasi aspek-aspek penting dari sistem hidrogeologi fisik termasuk kerangka geologi dan hidrologi, tipe media (retakan atau porus), proses-proses fisik dan kimia, sifat-sifat hidraulik, serta besar pengambilan dan pemasukan air.

Gambarkan komponen–komponen model konseptual ini, baik dalam suatu dokumen terpisah maupun sebagai suatu bagian atau bab di dalam laporan model. Apabila diperlukan, masukkan juga ilustrasi untuk mendukung uraian yang disajikan. Misalnya saja peta kontur, penampang melintang, diagram blok, atau kombinasinya. Aspek-aspek model konseptual yang ditinjau bisa digambarkan sebagai berikut.

a) Kerangka geologi

Kerangka geologi merupakan distribusi dan konfigurasi akuifer dan unit-unit pengekan akuifer. Yang harus diperhatikan adalah ketebalan, kemenerusan, litologi, dan struktur geologi unit-unit tersebut yang relevan dengan tujuan studi. Wilayah sistem akuifer yang mungkin, bisa terdiri dari akuifer-akuifer (yang saling berhubungan) dengan unit-unit pengekan yang berada di antara akuifer-akuifer tersebut, yang sering meluas sampai ke luar dari daerah yang ditinjau. Dalam hal demikian, maka jelaskan sistem akuifer tersebut secara rinci di dalam wilayah yang menjadi perhatian dan sekurang-kurangnya gambarkan juga secara umum untuk wilayah lainnya. Buatlah hasil analisis kerangka geologi, yang bisa berupa senarai, tabel, peta atau kombinasinya, yang menyangkut ketebalan, cakupan atau luasan, sifat-sifat hidraulik akuifer yang bersangkutan, dan lapisan-lapisan pengekannya.

b) Kerangka hidrologi model konseptual

Kerangka hidrologi model konseptual diantaranya adalah luasan fisik sistem akuifer, proses-proses hidrologi yang berpengaruh pada sistem aliran air tanah, analisis arah aliran air tanah, dan tipe media. Dalam model konseptual harus dinyatakan secara jelas tentang derajat media sistem akuifer yang bertindak sebagai suatu media porus. Jika sistem akuifer merupakan media retakan dan hasil pelarutan, dalam model konseptual keadaan ini harus dinyatakan dengan uraian yang jelas. Kerangka hidrologi meliputi batas-batas sistem aliran, yang mungkin saja bukan bersifat fisik dan bisa berubah menurut waktu seperti misalnya batas pemisah wilayah air tanah. Pengukuran potensial atau tinggi tekan (*head*) fluida memungkinkan untuk bisa memperkirakan besar dan arah aliran air tanah. Model matematik secara tipikal dikalibrasi pula terhadap angka-angka ini. Tabelkan hasil pengukuran-pengukuran muka air di dalam sistem air tanah baik secara spasial maupun secara waktu. Analisis aliran ini meliputi perkiraan kemiringan (*gradient*) tegak dan horizontal, delineasi batas pemisah wilayah air tanah, dan pemetaan garis-garis aliran.

c) Sifat-sifat hidraulik

Sifat-sifat hidraulik merupakan ukuran kemudahan air untuk melewati media sistem akuifer dan karakteristik tampungannya. Contoh spesifik dari sifat-sifat hidraulik termasuk transmisivitas (*transmissivity*), kelulusan hidraulik (*hydraulic conductivity*), koefisien kandungan air (*coefficient of storage*) dan lepasan jenis (*specific yield*). Sifat-sifat hidraulik bisa homogen ataupun heterogen ke seluruh wilayah model. Sifat-sifat tertentu seperti kelulusan hidraulik mungkin saja mempunyai sifat keterarahan tertentu yang disebut dengan sifat anisotropik. Dokumentasikan hasil pengukuran lapangan dan laboratorium tentang sifat-sifat ini, yang sangat penting untuk melihat batas atau kisaran toleransi yang bisa diterima dalam mengarahkan kalibrasi model.

d) Pengambilan dan pemasukan air

Pengambilan air dari dan pemasukan air ke dalam sistem akuifer berpengaruh pada pola aliran air tanah yang terjadi. Contoh yang paling umum dari pengambilan dan pemasukan air adalah pemompaan atau injeksi air pada sumur-sumur, infiltrasi, evapotranspirasi, laju perasan (*squeeze rate*), laju bocoran (*leakage*) yang melewati lapisan-lapisan pengekan, dan aliran menuju ke atau berasal dari badan-badan air permukaan. Identifikasi dan gambarkan sumber-sumber pengambilan dan pemasukan air ini di dalam sistem akuifer pada model konseptual. Lakukan pendeskripsian yang meliputi besar pengambilan dan pemasukan air serta variabilitasnya menurut waktu. Suatu perhitungan neraca air harus dikembangkan sebagai bagian dari model konseptual.

5.3 Analisis ketidakpastian model konseptual

Siapkan suatu analisis tentang kekurangan data dan potensi sumber galat yang terjadi dalam model konseptual. Model konseptual biasanya mengandung ketidakpastian yang disebabkan oleh kekurangan data lapangan. Identifikasi wilayah-wilayah yang mengandung ketidakpastian ini dan tetapkan signifikasinya dalam model konseptual, yang dievaluasi dalam kaitannya dengan sasaran penerapan. Jika sistem bisa dikonseptualisasikan lebih dari satu cara, alternatif model konseptual ini harus pula digambarkan dan dievaluasi.

5.4 Penyusunan program komputer

Penyusunan program komputer merupakan proses pemilihan algoritma perangkat lunak yang paling sesuai untuk menirukan karakteristik sistem hidrogeologi fisik seperti yang teridentifikasi dalam model konseptual. Program komputer harus diuji untuk keperluan penggunaan yang sudah ditetapkan dan didokumentasikan sebaik mungkin. Faktor-faktor lain yang juga harus ditinjau di dalam proses pengambilan keputusan adalah pengalaman penganalisis model dan pembentukan model. Aspek-aspek penting dalam pembentukan model adalah pendimensian yang digunakan, yang akan menentukan kemampuan dari program model. Persiapkan uraian dalam laporan model tentang pertimbangan mengenai penggunaan program komputer model yang terpilih untuk studi tersebut.

5.5 Penyusunan model aliran air tanah

Pembentukan model aliran air tanah merupakan proses mentransformasi model konseptual menjadi suatu bentuk matematik. Model aliran air tanah secara tipikal terdiri dari dua bagian: serangkaian data dan program komputer. Proses pembentukan model termasuk pula penyusunan rangkaian data yang digunakan dalam program komputer. Komponen-komponen dasar dari model aliran air tanah antara lain pendimensian, diskretisasi atau pengeratan (*discretization*), kondisi batas dan kondisi awal serta sifat-sifat hidraulik.

- a) Pendimensian spasial ditentukan oleh sasaran penerapan dan keadaan sistem air tanah. Sebagai contoh, dalam studi model konseptual bisa digunakan suatu pemecahan sederhana satu dimensi untuk maksud menguji konseptualisasi yang mempunyai kemungkinan untuk berubah-ubah. Pemodelan dua dimensi dianjurkan jika gradien vertikal bisa diabaikan. Jika gradien vertikal sangat signifikan atau jika terdapat beberapa akuifer di dalam sistem aliran, model dengan penampang dua dimensi atau seolah-olah tiga dimensi bisa digunakan. Suatu pendekatan model tiga dimensi kuasi adalah salah satu pendekatan yang akuitarnya tidak secara eksplisit dideskritisasi tetapi didekati dengan menggunakan istilah laju bocoran.
- b) Pendimensian secara waktu merupakan pemilihan antara kondisi aliran langgeng (*steady*) dan aliran tak langgeng (*unsteady*). Dari simulasi kondisi langgeng diperoleh hasil rata-rata atau hasil untuk jangka panjang, Analisis tak langgeng secara tipikal digunakan

apabila kondisi batas bervariasi menurut waktu atau apabila sasaran studi memerlukan jawaban untuk lebih dari satu titik waktu.

- c) Di dalam model numerik, diskretisasi spasial merupakan suatu langkah yang kritis di dalam proses konstruksi model. Secara umum diskretisasi yang lebih halus menghasilkan suatu pemecahan yang lebih teliti dari persamaan-persamaan yang digunakan. Tetapi terdapat batas-batas praktis mengenai jumlah simpulnya (*node*). Untuk memperoleh suatu hasil yang bisa diterima dengan jumlah simpul yang minimum, maka diperlukan *grid* model dengan diskretisasi yang lebih halus lagi di dalam daerah yang menjadi perhatian atau di mana terdapat perubahan yang besar secara spasial parameter akuifer atau kemiringan hidraulik. Di dalam merancang suatu model numerik dianjurkan untuk meletakkan simpul-simpul sedekat mungkin pada lokasi sumur-sumur pemompaan, menempatkan secara teliti sisi model dan batas-batas hidrologi dan menghindari kontras yang besar pada spasi simpul yang berdekatan.
- d) Diskretisasi spasial melibatkan pula pemilihan jumlah dan ukuran tahap waktu (*time step*) untuk periode simulasi model numerik tak langgeng. Pilihlah tahap waktu atau interval waktu sehingga bisa meminimumkan galat yang disebabkan oleh perubahan tiba-tiba kondisi-kondisi batas. Secara umum suatu tahap waktu yang kecil akan digunakan di sekitar lokasi perubahan-perubahan ini untuk memperbaiki ketelitiannya. Beberapa bagan tahap waktu numerik yang dipilih bisa menyebabkan munculnya kendala tambahan pada ukuran tahap waktu maksimum, yang disebabkan oleh stabilitas numerik (*numerical stability*).
- e) Penentuan kondisi batas model aliran air tanah berarti menetapkan tipe kondisi batas untuk setiap titik sepanjang permukaan batas tiga dimensi dari sistem akuifer, termasuk pengambilan dan pemasukan air yang bersifat internal. Kondisi-kondisi batas yang ditetapkan bisa berupa salah satu dari lima kategori: kondisi tinggi tekan yang ditetapkan (kondisi batas Dirichlet), fluks yang ditentukan (kondisi batas Neumann) dan kondisi campuran (kondisi batas Cauchy), batas muka air bebas, dan batas rembesan. Dimungkinkan untuk memasukkan hanya batas-batas hidrologi alami sebagai kondisi batas di dalam model. Kebanyakan dari model numerik menempatkan suatu *grid* yang harus berakhir di suatu tempat. Hal yang sering tidak bisa dihindari adalah penetapan batas-batas yang dilakukan secara artifisial pada bagian tepi model. Apabila batas *grid* ini cukup jauh dari daerah yang menjadi pokok perhatian, maka kondisi artifisial batas *grid* tidak begitu berpengaruh secara signifikan terhadap kemampuan memprediksi dari model. Hanya saja pengaruh kontur buatan harus selalu diuji dan didokumentasikan secara teliti dalam laporan model.
- f) Kondisi awal merupakan titik mulai perhitungan model tak langgeng. Dalam model aliran air tanah numerik, kondisi awal terdiri dari tinggi tekan hidraulik yang ditetapkan untuk tiap-tiap simpul model pada permulaan simulasi. Kondisi awal merupakan solusi keadaan langgeng yang bisa diperoleh dari model yang sama. Tentukan kondisi awal secara tepat untuk model tak langgeng. Model langgeng sama sekali tidak membutuhkan kondisi awal.
- g) Di dalam model numerik pada tiap-tiap simpul atau elemen diberikan suatu nilai sifat hidraulik yang dibutuhkan oleh model aliran air tanah sedangkan untuk model tipe lain seperti pada kebanyakan model analitis, tetapkan angka-angka yang menyatakan sifat yang homogen. Sifat-sifat hidraulik yang paling umum adalah kelulusan hidraulik vertikal dan horizontal atau transmisivitas dan koefisien kandungan. Angka-angka sifat sifat hidraulik dimasukkan ke dalam model didasarkan atas data pengujian akuifer dan data geologi. Secara umum angka sifat hidraulik dimasukkan ke dalam zone-zone yang luas, yang mempunyai karakteristik geologi yang sama. Teknik geostatistik seperti *kriging* juga umum digunakan untuk memberikan angka-angka sifat hidraulik ini pada simpul-simpul model apabila datanya cukup tersedia.

5.6 Kalibrasi

Kalibrasi model aliran air tanah merupakan proses pengaturan parameter-parameter hidraulik, kondisi batas, dan kondisi awal pada kisaran yang bisa diterima agar bisa diperoleh tingkat kecocokan yang cukup antara tinggi tekan yang diamati dan yang disimulasi. Demikian juga dengan besar aliran dan target-target kalibrasi lainnya. Kisaran parameter model dan kondisi batas bisa bervariasi, yang ditentukan oleh data yang disajikan di dalam model konseptual. Dalam kasus parameter-parameter bisa ditetapkan secara baik di lapangan, maka kisaran parameter yang bervariasi di dalam model harus konsisten dengan kisaran yang diamati di lapangan tersebut. Derajat kecocokan antara hasil simulasi model dan pengukuran lapangan dapat dikuantifikasikan dengan menggunakan teknik statistik.

- a) Praktek kalibrasi model sering diselesaikan melalui pengaturan coba-coba (*trial and error*) data input model agar sesuai dengan pengamatan lapangan. Teknik Pembalkan otomatis adalah tipe lain dari prosedur kalibrasi. Proses kalibrasi berlangsung sampai derajat hubungan antara simulasi dan fisik sistem hidrogeologi bersifat konsisten dengan sasaran penerapan.
- b) Kalibrasi dievaluasi melalui analisis nilai sisa atau nilai residual. Nilai residual merupakan selisih antara variabel simulasi dan variabel pengamatan. Kalibrasi bisa dipandang sebagai analisis regresi yang dirancang untuk membawa angka rata-rata dari nilai residual mendekati nol dan meminimumkan simpangan baku nilai residual. Uji statistik dan ilustrasi yang menunjukkan distribusi dari nilai residual disajikan di dalam dokumen kalibrasi. Kriteria untuk kalibrasi yang bisa diterima idealnya harus ditetapkan sebelum proses kalibrasi dimulai.
- c) Kalibrasi sering memerlukan rekonstruksi bagian-bagian dari model, yang menghasilkan perubahan atau penghalusan model konseptual. Kedua kemungkinan ini menghasilkan iterasi-literasi di dalam proses pemodelan di mana pemodel meninjau kembali langkah-langkah sebelumnya untuk memperoleh keterwakilan yang lebih baik dari sistem fisik.
- d) Di dalam kedua teknik coba-coba dan invers, analisis kepekaan memegang peranan penting di dalam proses kalibrasi untuk mengidentifikasi parameter-parameter mana yang sangat penting dan paling berpengaruh pada reliabilitas model. Analisis sensitivitas digunakan secara ekstensif di dalam teknik invers untuk membuat pengaturan angka-angka parameter model.
- e) Kalibrasi model aliran air tanah terhadap serangkaian tunggal pengukuran lapangan tidak menjamin suatu pemecahan yang unik. Untuk mengurangi problem ketidakunikan ini, maka perhitungan model harus bisa dibandingkan terhadap serangkaian pengamatan lapangan lainnya yang mewakili kondisi batas atau tekanan (*stresses*) terhadap sistem akuifer. Dengan merujuk kepada literatur model aliran air tanah, tindakan ini disebut sebagai validasi atau verifikasi, tetapi istilah verifikasi digunakan dalam standar ini. Di dalam verifikasi model, model yang telah dikalibrasi ini digunakan untuk menirukan serangkaian tekanan yang berbeda yang terjadi pada akuifer sesuai dengan pengukuran lapangan yang telah dibuat. Hasil model ini kemudian dibandingkan dengan pengukuran lapangan untuk menaksir derajat keterkaitannya. Jika perbandingan tidak memuaskan, kalibrasi tambahan atau koleksi data tambahan diperlukan. Suatu verifikasi model air tanah dikatakan berhasil apabila bisa diperoleh suatu derajat keterpercayaan yang lebih tinggi di dalam prediksi model. Suatu model yang telah dikalibrasi, tetapi tidak diverifikasi mungkin masih bisa digunakan untuk melakukan simulasi prediksi apabila digabungkan dengan analisis sensitivitas yang dilakukan secara berhati-hati.

5.7 Analisis sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan suatu metode kuantitatif untuk menentukan akibat dari variasi parameter terhadap hasil model. Tujuan dari analisis sensitivitas adalah untuk menguantifikasi ketidakpastian di dalam perkiraan parameter akuifer, tekanan-tekanan yang berlangsung terhadap akuifer dan kondisi-kondisi batas. Ini merupakan alat untuk mengidentifikasi *input* model yang mempunyai pengaruh terbesar pada kalibrasi model dan prediksi. Lakukan analisis sensitivitas untuk menyediakan para pemakai model mengenai pemahaman tentang tingkat keterpercayaan hasil-hasil model dan untuk mengidentifikasi kekurangan data yang mungkin terjadi.

- a) Analisis sensitivitas dilakukan selama berlangsungnya kalibrasi model dan selama analisis prediksi. Sensitivitas model merupakan suatu cara untuk menentukan parameter-parameter kunci dan kondisi-kondisi batas kunci yang harus diatur selama kalibrasi model. Analisis sensitivitas digunakan dalam kaitannya dengan simulasi prediksi untuk memperkirakan efek dari ketidakpastian parameter terhadap hasil-hasil model.
- b) Sensitivitas suatu parameter model sering dinyatakan sebagai laju perubahan relatif dari perhitungan model yang dipilih berkaitan dengan parameter tersebut. Jika suatu perubahan kecil di dalam *input* parameter dan kondisi batas menyebabkan suatu perubahan yang berarti keluaran model, kejadian ini disebut sebagai peka terhadap parameter dan kondisi batas tersebut.

5.8 Penerapan model untuk prediksi

Model aliran air tanah untuk persoalan spesifik setempat kadang-kadang memasukkan simulasi prediksi. Simulasi prediksi merupakan analisis skenario yang ditetapkan sebagai bagian dari sasaran studi. Simulasi prediksi perlu didokumentasikan dengan ilustrasi yang cukup di dalam laporan model. Kondisi batas seringkali dipilih selama pembentukan model didasarkan atas kondisi aliran air tanah yang ada atau yang terjadi pada masa lalu. Kondisi batas yang digunakan di dalam model kalibrasi bisa saja tidak cukup tepat untuk semua simulasi prediksi. Jika simulasi model menghasilkan suatu tekanan hidrologi yang tidak biasa dan sangat besar atau jika terdapat tekanan baru ditempatkan berdekatan dengan batas model, maka lakukan evaluasi sensitivitas dari prediksi ini untuk kondisi-kondisi batas tersebut. Hal ini bisa menghasilkan suatu interaksi tambahan di dalam proses pemodelan. Jika model aliran air tanah harus digunakan untuk tujuan prediksi, pemeriksaan lanjutan bisa dilakukan untuk menentukan ketelitian prediksi. Ketika kalibrasi model dan verifikasi menunjukkan bahwa model telah menirukan perilaku sistem pada masa lalu secara akurat, uji lanjutan akan menunjukkan apakah model dapat memprediksi perilaku sistem pada kemudian hari. Pemeriksaan lanjutan ini secara normal dilakukan beberapa tahun sesudah penyerahan atau sesudah laporan model dibuat. Oleh karena itu, pemeriksaan lanjutan harus didokumentasikan di dalam laporan terpisah.

6 Pelaporan

Maksud dan tujuan pembuatan laporan model adalah untuk mengomunikasikan temuan-temuan dan mendokumentasikan prosedur serta asumsi yang terkait di dalam studi serta menyediakan informasi rinci untuk kaji ulang oleh rekan lainnya. Laporan ini harus merupakan dokumen lengkap yang memungkinkan para peninjau ulang dan pengambil keputusan untuk memformulasikan pendapatnya mengenai kredibilitas model yang digunakan. Laporan harus dibuat serinci mungkin sehingga memungkinkan pemodel lepas lainnya atau siapa pun yang berminat bisa menduplikasi hasil model. Laporan model harus menggambarkan seluruh aspek studi pemodelan yang disarikan di dalam standar ini. Contoh daftar isi laporan yang dimaksud dapat dilihat berikut ini.

Lampiran A (Normatif)

Contoh daftar isi laporan yang dimaksud dapat dilihat berikut ini.

1.0 Pendahuluan

1.1 Gambaran umum

1.2 Sasaran studi

2.0 Model konseptual

2.1 Kerangka sistem akuifer

2.2 Sistem aliran air tanah

2.3 Batas-batas hidrologi

2.4 Sifat-sifat hidraulik

2.5 Pengambilan dan pemasukan air

2.6 Neraca air

3.0 Program computer

3.1 Pemilihan program

3.2 Deskripsi program

4.0 Konstruksi model aliran air tanah

4.1 Grid dari model

4.2 Parameter hidraulik

4.3 Kondisi batas

4.4 Pemilihan target kalibrasi

SNI 7748:2012

5.0 Kalibrasi

5.1 Analisis residual

5.2 Analisis sensitivitas atau kepekaan

5.3 Verifikasi model

6.0 Simulasi prediksi

7.0 Ringkasan dan kesimpulan

7.1 Asumsi model dan pembatasan-pembatasan penggunaan

7.2 Prediksi model

7.3 Rekomendasi

8.0 Daftar pustaka

Lampiran berkas *input* model yang merupakan tabel isi dari laporan model aliran air tanah



Bibliografi

Anonymous, 1986. *Groundwater Modeling of Southern Bali*. Final Report. Bandung: Institute of Hydraulic Engineering.

ESCAP, 1993. *Computer Applications for Groundwater Assessment and Management*. Water Resources Series No 73. New York: United Nations.

Kruseman, G.P., dan de Ridder, N.A., 1989. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Wageningen: ILRI publication 47

Paolo, B., 1982. *Madiun - Solo Basin Multi Artesian Groundwater System. Manual of Computerized Mathematical Model*. Jakarta: Directorate General of Water Resources Development.

